

УДК 551.4 : 551.24

Н. И. НИКОЛАЕВ

ИМПУЛЬСНЫЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ И ИХ РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩАЯ РОЛЬ

Выявляются основные черты импульсных тектонических движений, их природа, генерирующий их механизм. Освещается связь медленных и импульсных тектонических движений, их роль в формировании рельефа и возникновении геоморфологических, геодезических и других аномалий. Рассматривается роль импульсных движений в проявлении экзогенных процессов. Отмечается практическое значение некоторых выводов автора. Затрагивается проблема эволюционно-революционного развития рельефа.

В геоморфологии, когда говорится о роли тектонических движений в формировании рельефа земной поверхности, обычно имеются в виду медленные (вековые, колебательные) движения, закономерности проявления которых сравнительно хорошо изучены.

Однако уже давно помимо медленных тектонических движений было предложено выделять и быстрые (импульсные, упругие) движения, которые связываются с проявлением землетрясений разной интенсивности. Их значение в формировании рельефа, особенно крупных форм, продолжает оставаться неясным. В настоящее время высказываются даже взгляды, согласно которым в определенных районах поверхности Земли медленные движения не играют рельефообразующей роли, а если и оказывали влияние на рельеф, то оно было несущественным. В таких районах предпочтение в рельефообразовании отдается «сейсмическим и сейсмогенным процессам» (Солоненко, 1973а).

Очевидно, этот вопрос требует обсуждения.

Импульсные тектонические движения тесно связаны с медленными. Эта связь носит сложный характер, только начинает улавливаться, и сущность ее во многом остается еще неразгаданной. В настоящее время медленные тектонические движения характеризуют такими количественными параметрами, как скорость, градиент скорости вертикальных тектонических движений, тектоническая активность, дробность; горизонтальное взаимодействие блоков в виде сжатия, растяжения, раздавливания, с проявлением вращательных движений (роторное поле — Николаев, 1973). Знание этих параметров позволяет определить тип деформации и судить о распределении и величине напряжений в земной коре, установить не только их влияние на формирование рельефа земной поверхности, но и перейти к выявлению природы и закономерностей импульсных тектонических движений.

Основные черты импульсных тектонических движений

Медленные (вековые) и быстрые (импульсные) движения можно считать различными по форме проявлениями глубинных процессов, имеющих единую природу. Основная черта импульсных движений — их дискретность. Периоды относительного покоя — периоды накопления упругих напряжений и деформаций — чередуются с импульсами быстрого

движения, в момент которых происходит сбрасывание напряжений, возникают упругие колебания и остаточные деформации в виде образования в горных породах определенных типов тектонической трещиноватости и разрывов разной протяженности.

Вряд ли можно согласиться с мнением Ю. А. Косыгина (1969), говорящего, что «упругие движения в целом не причисляются к собственно тектоническим движениям хотя бы потому, что они не запечатлеваются в тектонической структуре...». Это в какой-то мере противоречит выделению этим же автором «сейсмогенных» движений, рассматриваемых как особая форма тектонических движений, при которых проявляется упругая деформация и которые ведут к образованию дислокаций, часто выраженных в рельефе. По существу этот термин является синонимом «импульсных» движений, которому мы отдаем предпочтение и который в последнее время используется в литературе (Казимиров, 1974). Однако не все упругие движения импульсные. Возможно проявление упругих деформаций в виде «квазиупругих» движений, выделяемых Ю. А. Косыгиным, которые, по его мнению, «могут рассматриваться как тектонические или очень близкие к ним», например последенниковые поднятия при процессах деградации.

Импульсные движения проявляются в виде сейсмических шумов, улавливаемых приборами и представляющих слабое потрескивание горных пород; ощутимых человеком слабых землетрясений (при $M=1,5$) и более сильных землетрясений (вплоть до катастрофических). Во всех случаях эти движения сопровождаются деформациями с образованием как мелких трещин, так и крупных разрывов в земной коре.

Упругие движения на земной поверхности вызывают образование различных остаточных деформаций, часто встречающихся в плейстоценовых областях (Живая тектоника, 1966; Солоненко, 1973б; Флоренсов, 1960; Сейсмогенные структуры..., 1973, и др.). Помимо этого они ведут к образованию тектонической трещиноватости, активизируют разнообразные экзогенные процессы, а в условиях горного рельефа вызывают отчленение скал и глыб горных пород (по свежим, невыветренным поверхностям) с образованием обвалов и осыпей (Богданович и др., 1914). В области морского дна, где накапливаются осадки, на небольших глубинах претерпевающие уже процессы диагенеза и литификации, импульсные движения приводят к их дроблению. Образуются своеобразные брекчиевидные породы, часто принимаемые за брекцию взламывания. Импульсные движения часто приводят к образованию открытых трещин, заполняющихся морскими осадками, впоследствии образующими кластические дайки, и к широкому развитию подводных оползней даже в условиях очень небольших уклонов морского дна ($>2-5^\circ$). В этих случаях импульсные движения (сопровождающиеся землетрясениями) оказываются сингенетичными осадконакоплению. Все эти явления запечатлеваются в геологических разрезах, благодаря чему они могут быть реконструированы. Следами палеогеоморфологических проявлений импульсных движений в геологическом прошлом могут быть и особые фации отложений (с обломочной структурой, например в известняках) в сочетании с различными деформациями (Николаев, 1970, и др.). Таким образом, импульсные тектонические движения запечатлеваются в тектонической структуре, геологических разрезах и влияют на формирование рельефа. Какова же природа этих движений?

Под влиянием гидростатического (геостатического) давления (P) горные породы накапливают упругую энергию и приобретают напряженное состояние. Накопление этой энергии будет ограничиваться прочностью горных пород на скалывание (которая имеет порядок 10^9 дин/см² на глубинах до 20 км) и проявлением неупругих процессов при возрастании разности напряжений, в частности процессов релаксации

напряжений, которые будут ограничивать накопление упругой энергии как по величине, так и во времени. В условиях гидростатического сжатия горные породы увеличивают прочность и вследствие упругого деформирования объема — дилатации могут накапливать теоретически неограниченное количество упругой энергии, которая в естественных условиях определяется величиной P и действием тектонических сил. При проявлении релаксации напряжений, связанной с упругим изменением объема (дисторсией), напряженное состояние уменьшается. А когда со временем дисторсия заканчивается, при постоянном P горные породы могут сохранять часть накопленной упругой энергии теоретически неограниченно долго (Пономарев, 1971). Таким образом, вследствие дилатации горные породы накапливают значительные запасы потенциальной энергии. Образуются геодинамические поля (Напряженное состояние..., 1973), где напряжения превышают давление P . Высвобождение этой энергии может происходить при нарушении гидростатически напряженного состояния под влиянием изменения нагрузки процессами денудации и аккумуляции и тектонических процессов, приводящих к нарушению сплошности горных пород.

По существующим представлениям, в геодинамических полях преобладают напряжения сжатия. Растягивающие напряжения имеют локальный характер и коррелируются с зонами трещиноватости и дробления горных пород (Булин, 1973). По расчетам, избыточные напряжения $\left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} - P\right)$ достигают приблизительно 2000—3500 кг/см² на глубинах 10—40 км (Кропоткин, 1971; Кропоткин, Фролов, 1974). Зависимость напряжений от глубины меняется и имеет вид осциллирующей кривой с чередованием зон повышенных и пониженных напряжений (Симбирева, 1971; Николаев, 1973; Nikolaev, 1974). Участки аномально высокой напряженности горных пород коррелируются с зонами активного проявления новейшей тектоники, с зонами повышенной сейсмической активности, местами с зонами повышенных значений теплового потока. Как установлено, (Напряженное состояние..., 1973; Кропоткин, Фролов, 1974), в этих же районах оси сжатия (σ_3) ориентированы перпендикулярно осям неотектонических поднятий (Скандинавские горы, Урал, Алайский хребет) и осям положительных и отрицательных изостатических аномалий. То же выявляется и из анализа геодезических данных по современным деформациям (Япония) и сейсмологическим данным (Введенская, 1962).

Существование глобального поля сжимающих напряжений П. Н. Кропоткин и Н. Хаст объясняют общим сжатием Земли в настоящее время. Однако, по мнению Н. К. Булина (1973), натурные определения напряжений имеют столь значительный разброс точек, что осреднение их одной линейной зависимостью, как это делают указанные авторы, практически невозможно. Поэтому представление о глобальном преобладании горизонтальных напряжений сжатия над вертикальными, которое используется и в геоморфологии, оказывается пока мало обоснованным.

Таким образом, импульсные тектонические движения по своему распространению могут быть и локальными, связанными с отдельными структурными формами, и региональными, охватывающими огромные территории, соизмеримые с площадями распространения медленных движений того или иного знака, и, наконец, глобальными, когда медленные глыбово-блоковые движения земной коры (дифференцированные по структурным элементам) могут сопровождаться импульсными упругими движениями разной интенсивности. Сказанное свидетельствует о сложности проявления импульсных движений и необходимости дальнейшего изучения затронутых вопросов.

Скорость импульсных движений трудно поддается измерению. Ее оценка по остаточным деформациям показывает метры в секунду, что превышает скорость медленных тектонических движений более чем на 10—12 порядков. Во время их проявления в упругодеформированных горных породах происходит разрядка (путем разрыва или пластического сдвига) накопленной упругой энергии. Последняя высвобождается в виде сейсмических волн. Установлено, что разрядка упругих напряжений при каждом отдельном землетрясении происходит не мгновенно, а в зависимости от его интенсивности занимает от одной до 10 сек. Это время разрядки носит название «сейсмической текучести».

Сейсмическая текучесть проявляется в области, носящей название очага, в котором возникают упругие сейсмические колебания. Поскольку очаг недоступен изучению, наши представления о нем основываются на косвенных данных. Очаг, генерирующий импульсные тектонические движения, рассматривается как часть пространства, внутри которого происходят разрывы и интенсивные неупругие деформации, приводящие к землетрясениям, быстрые непрерывные движения среды — пластичные и др., имеющие необратимый или медленно обратимый характер, различное распределение напряженного состояния, обусловленное разрывами, с участками повышенных и пониженных напряжений. Границы очага условны. Форма и размеры его очень различны (Бунэ и др., 1960; Гзовский, 1971, и др.).

Механизм, генерирующий импульсные тектонические движения

Механизм очага остается до настоящего времени окончательно не установленным, и в отношении его существует несколько гипотез, в большей или меньшей степени согласующихся с накопленным фактическим материалом. Более 60 лет в науке господствовали представления Рейда (Reid, 1911), согласно которым импульсные движения возникают при сколовой деформации. По этой гипотезе «упругой отдачи» под влиянием медленных тектонических движений происходит накопление энергии упругой деформации в зоне будущего очага, содержащей тектоническую неоднородность в виде разлома. По мере накопления упругой деформации в месте, где величина локального напряжения становится выше, чем предел упругости данного объема горных пород, образуется местный скол. Происходит перераспределение напряжений. Возникают смещения в направлении поверхности разлома, как говорят, вспарывание шва. От начальной точки разрыва (фокуса землетрясения) смещение распространяется со скоростью в 3—4 км/сек. Эмпирически установлено, что длина активизировавшегося или вновь образующегося разрыва пропорциональна энергии землетрясений. Длина его изменяется от 20 км при магнитуде $M=6$ и до 1000 км при $M=8\frac{1}{4}$ (землетрясения в Чили 1960 г., на Аляске 1964 г.). При этом выделяется огромная энергия, по подсчетам для Аляскинского землетрясения равная 10^{23} эрг, что эквивалентно энергии подземного взрыва 100 ядерных бомб до 100 мегатонн каждая. Было установлено, что магнитуда землетрясения и освобождающаяся энергия зависят только от объема очага, размеры которого могут быть огромными.

Оказывается, что около 80% всей энергии, выделяющейся при землетрясениях, связанных с проявлением импульсных движений, падает на глубины от 0 до 60 км. При этом большая часть очагов локализована на глубинах 5—30 км, хотя зафиксированы очаги до глубины 700 км.

Развитие экспериментальных работ по выявлению механического поведения горных пород при повышенных давлениях и температурах позволило установить, что такие условия на больших глубинах препятствуют образованию трещин и благоприятствуют пластическому течению.

Вместо сколовой деформации и скольжения приходится говорить о связанном течении по поверхности разлома. Такой механизм очага оказывается более вероятным, особенно для глубоких землетрясений. В последние годы усиленно разрабатываются новые представления. Считается, что механизм скалывания все же можно допустить и на глубине в случае, если там присутствует поровая жидкость под высоким давлением. В неглубоких частях коры горные породы содержат связанную воду, которая на глубине может освобождаться при реакции дегидратации. Жидкость понижает нормальные напряжения, фрикционное сопротивление и изменяет прочность пород. Влияние жидкой фазы хорошо показано экспериментами по закачиванию жидкости под давлением в глубокие скважины, в результате чего происходило выделение упругой энергии в виде большого количества слабых землетрясений (Carder, 1970; Evans, 1966; Steinbrugge, 1972). Такой же эффект получается при создании крупных водохранилищ при определенных условиях, возбуждающих землетрясения (Николаев, 1972, 1973; Nikolaev, 1974). Следует отметить, что в указанных направлениях в СССР и за рубежом проводится интенсивная разработка этой проблемы как путем получения наблюдательных данных на геофизических и сейсмических станциях, в лабораторных условиях, так и путем теоретического осмысливания фактов. Однако, несмотря на прогресс в наших знаниях, мы еще далеки от однозначного решения проблемы. II. Кроме того, в разных условиях геологических структур и геофизического строения земной коры, на разных глубинах зарождения импульсных движений действуют различные механизмы.

Импульсные движения в виде землетрясений регистрируются сейсмическими станциями. Ежегодно сейсмические станции Земли регистрируют около 100 тыс. землетрясений. При сильных землетрясениях возникают обвалы, земляные лавины, сели, образуются зияющие трещины, эскарпы и прочие формы рельефа, которые охватывают большие площади и проявляются на расстоянии до 200 км и более от эпицентра. Однако сильные землетрясения, которые вызывают все эти явления, происходят очень редко, примерно один раз в год.

Территориально сильные землетрясения приурочены к подвижным поясам земного шара, к материковым и океаническим областям орогенеза, рифтогенеза и геосинклиналям. Эти области характеризуются нарушением изостатического равновесия. При этом чем активнее протекает тектонический процесс, тем сильнее нарушается изостатическое равновесие. По мнению М. Е. Артемьева (1971), это обстоятельство может являться индикатором тектонической активности в недрах Земли, а величина нарушения изостатического равновесия — показателем напряженного состояния, так как величина градиента изостатической аномалии силы тяжести и количество выделившейся при землетрясениях энергии оказываются связанными.

В Лаборатории неотектоники и сейсмотектоники МГУ был произведен подсчет (Л. Сим) площадей подвижных зон в пределах материков и океанов по вновь составленной карте неотектоники Мира. Оказалось, что подвижные пояса занимают ~35% площади суши и ~35% площади океанов (без учета шельфовых областей). В целом площади, где сосредотачивается проявление интенсивных импульсных движений, составляют 23% поверхности земного шара. Таким образом, рельефообразующая роль землетрясений в форме, указанной В. П. Солоненко (1973а), оказывается ощутимой на сравнительно ограниченной площади.

Как мы хорошо знаем, медленные тектонические движения проявляются повсеместно, всюду они дифференцированы, создают различное поле тектонической активности и напряженное состояние отдельных блоков горных пород. Можно утверждать, что и импульсные движения

также повсеместны. Свидетельством этому является сейсмичность, проявляющаяся в пределах древних платформ, которые до недавнего времени считались асейсмичными, и проявление сейсмических «шумов» и потрескиваний.

Примером может явиться Австралийский щит, считавшийся наиболее устойчивым и малоподвижным. С развитием сети сейсмических станций в последние годы здесь регистрируется большое количество слабых землетрясений. За последние десятилетия зарегистрировано два разрушительных землетрясения (в 1941 и 1968 гг.) в пределах восточного окончания Австралийского щита и района Аделаиды. Они сопровождались широким развитием сейсмодислокаций, выраженных в рельефе (Gordon, 1970; Doyle, 1970; Броун, Кэмпбел, 1970).

В пределах древних платформ землетрясения происходят при наличии прогибающихся грабенообразных впадин типа авлакогенов, обрамленных зонами разломов, часто лежащих в основании синеклиз или в пределах зон глубинных разломов, живущих и в неотектонический этап. Сильные землетрясения редки. Однако слабые импульсные движения, по существу, проявляются всюду (Николаев, 1967).

Роль импульсных движений в формировании рельефа подвижных областей

Подвижные области, где проявляются наиболее интенсивные импульсные движения, характеризуются сложным расчлененным рельефом земной поверхности. В течение новейшего этапа здесь сформировался горный рельеф и глубокие межгорные и предгорные впадины, отличающиеся направленными тектоническими движениями со скоростями, значительно превышающими скорости процессов выветривания и денудации.

Особенность этих областей — относительно большое количество сближенных зон глубинных разломов (шириной до 10 км и более, а в их пределах сгущение разрывов и мелкая блоковость), вдоль которых осуществлялись поднятия и опускания, отразившиеся на земной поверхности образованием хребтов и межгорных впадин. Особенности роста гор мы можем проследить по остаткам древних поверхностей выравнивания и региональным речным террасам, а формирование межгорных впадин — по комплексам выполняющих их коррелятных отложений.

Исследователи, занимающиеся изучением горных стран, особенно Средней Азии и Кавказа, неоднократно обращали внимание на большую роль землетрясений как процесса, преобразующего рельеф земной поверхности или активизирующего проявление ряда экзогенных процессов (Богданович и др., 1914; Шульц, 1961, и др.). Были многократно описаны случаи отражения интенсивных импульсных движений в рельефе. К ним относятся разнообразные формы: большое количество обвалов и оползней с объемом, нередко достигающим до 1—3 млрд м³ и более (Камчатка, Памир), которые часто связаны с зонами крупных разломов земной коры; обвалы, перегораживающие речные долины, подпруживающие реки, приводящие к образованию озер. В районах, сложенных слоистыми осадочными образованиями, при крупных землетрясениях происходит сползание до нескольких км² пластов или пачек пластов относительно жестких пород по более пластичным. При этом образуются громадные трещины, уступы высотой в десятки метров (Кавказ, Монголия). Проявляются горизонтальные смещения разного типа, происходит смещение крупных горных массивов. Кто имел возможность наблюдать все перечисленные явления в природе, поражался грандиозности и силе импульсных движений и тем преобразованиям, которые они вызывают в рельефе. Так, например, В. П. Солоненко утверждает, что «в районах с высокой сейсмичностью вряд ли представляется воз-

можным говорить о рельефообразующей роли современных колебательных движений или хотя бы о существенном их влиянии на изменение земной поверхности». Аргументом для такого утверждения является напоминание, что «миллиметровые амплитуды смещений при этих (медленных Н. Н.) движениях в сотни и тысячи раз перекрываются амплитудами смещения при сильных землетрясениях» (Солоненко, 1973а).

Обращает внимание, что, рассматривая этот вопрос, В. П. Солоненко (1973а) анализирует не только современные сейсмодислокации, но и палеосейсмодислокации, образовавшиеся в голоцене и в позднем плейстоцене. Таким образом, выявляется суммарное влияние сейсмогенных явлений на рельеф. Относительно медленных движений В. П. Солоненко ограничивается рассмотрением только современных движений (столетия).

Проанализируем влияние медленных и импульсных тектонических движений в пределах одного и того же отрезка времени. Скорость медленных движений и для платформенных и для орогенных областей действительно измеряется миллиметрами в год. Однако малые на первый взгляд, они на самом деле оказываются чрезвычайно высокими, и эффект их проявления весьма внушителен. Убедиться в этом можно при помощи следующего элементарного расчета. Возьмем очень низкое значение скорости современных движений, 3 мм/год . Тогда за голоцен (10 000 лет) в условиях направленных тектонических движений областей горообразования суммарно они составят 30 м. Если же учесть, что для многих горных стран современные движения оцениваются сантиметрами в год, то эта цифра значительно возрастет. Возьмем минимальную скорость 1 см/год . Тогда за голоцен мы будем иметь суммарную величину направленных медленных движений в 100 м. Если же учесть, что в орогенных областях проявляются сильнодифференцированные движения, то при такой, казалось бы незначительной, скорости в смежных поднимающихся и опускающихся областях размах движений будет достигать уже 200 м. Такие амплитуды движений будут ощутимо сказываться на интенсивности разнообразных процессов денудации.

Этот эффект будет неизмеримо выше, если мы выйдем за пределы голоцена и будем рассматривать весь неотектонический этап, за который сформировался горный рельеф, разный отрезку времени в несколько миллионов лет (до $25=5 \text{ млн. лет}$).

Как скажется эффект проявления землетрясений за этот же отрезок времени? Напомним, что периодичность импульсов разрушительных и сильных землетрясений для разных сейсмических областей разные авторы представляют очень по-разному. Для катастрофических землетрясений эта периодичность более продолжительна; для землетрясений, которые характеризуются как сильные, накопление упругой энергии происходит в более короткие сроки, но эффект в виде сейсмогенных явлений оказывается значительно более скромным. А при интенсивности землетрясений в VII баллов и менее он таков, что в формах рельефа отражается мало, и эти следы долго не сохраняются. Обратимся к цифрам. Для Закавказья, где первые сведения о землетрясениях относятся к 139 г. н. э., по данным Е. И. Бюса (1955), до середины I тысячелетия имеются сообщения о двух землетрясениях; за вторую его половину — о 10; за следующие 500 лет в летописях имеются указания на 17 землетрясений. В XVI в. упоминается только одно землетрясение, в XVII в. — 14, в XVIII — 3. В первой половине XIX в. упоминается о 148, а во второй — о 442 землетрясениях. Значительное увеличение количества сведений наблюдается с XX в. Какую же картину повторяемости дают эти более полные сведения? Оказывается, что в последние полвека слабые и умеренные землетрясения (интенсивность слабее V баллов) случались два раза в месяц; довольно сильные (V—

VI баллов) — почти раз в месяц; семибалльные землетрясения — через каждые 15 месяцев. Что касается разрушительных землетрясений (VIII баллов и выше), то они фиксируются раз в 6—8 лет.

Если взять даже такую периодичность (хотя многими авторами для разрушительных землетрясений других районов она оценивается в 100—150, а иногда в 400 лет), то, учитывая плотность эпицентров сильных землетрясений для того же Кавказа, мы убедимся, что все эти данные будут противоречить выводу В. П. Солоненко. Систематически и повсеместно действующие медленные движения окажут на поверхность Земли решающее рельефообразующее влияние. Что касается результатов импульсных движений, то в силу их малой плотности и локализованности в определенных зонах они будут играть в изменении рельефа земной поверхности лишь второстепенную, локальную роль.

Влияние медленных тектонических движений на рельеф общеизвестно. Исключительно велико их значение в развитии процессов эрозии, экзарации, различных гравитационных явлений. С ними связаны изменения уровня подземных вод, развитие карстовых процессов и т. д. Проявляющиеся сильные и катастрофические импульсные движения усиливают и ускоряют многие из этих процессов. По экспериментальным данным, например, частые слабые импульсные движения способны увеличивать фильтрацию подземных вод, что не может не сказаться на ходе экзогенных процессов. Однако нельзя все крупные смещения, хронологически не связанные с землетрясениями, относить к явлениям сейсмогравитационным. Например, в отношении крупного оползня на р. Могок в Дагестанской АССР, с общим объемом смещенных горных пород 100 млн м³ нельзя утверждать, что это сейсмогравитационное явление (Солоненко, 1974). Этот оползень отнесен к особому тектоническому типу, возникновение которого было предопределено ослабленной зоной сцепления горных пород вдоль разлома. Причиной оползня послужило не землетрясение, а обилие выпадавших в год перемещения горных масс осадков, превысивших нормы на 150—250%. Толща трещиноватых мергелей насыщалась водой и постепенно увеличивалась в весе, что в итоге привело к смещению (Чуринов, 1964). Этот пример (и многие другие) показывает, что грандиозные смещения могут образовываться и без вмешательства сильных импульсных движений, и положение таких оползней и обвалов в зоне высокой балльности землетрясений еще не может явиться аргументом для отнесения их к сейсмогравитационным явлениям. С другой стороны, мы не сомневаемся в том, что слабые импульсные тектонические движения, широко распространенные как в сейсмических областях, так и вне их, безусловно оказывают значительное влияние на разнообразные экзогенные процессы. Установить значение импульсных движений в динамике экзогенных процессов — задача будущих исследований.

О связи медленных и импульсных тектонических движений

Связь импульсных движений с медленными, как неоднократно отмечалось, выражается в приуроченности землетрясений к зонам с большими градиентами скоростей медленных (колебательных) движений. Более точную картину такой связи можно видеть в распределении активности новейших тектонических движений и интенсивных импульсных движений, выражающихся в сильных землетрясениях.

Выявляется и другая связь медленных и импульсных тектонических движений. При сильных землетрясениях импульсные движения охватывают площади большей протяженности. В земной коре сильный импульс, вызванный снятием накопленной упругой энергии, приводит к значительному перераспределению напряжений и, как следствие, к изменению скорости, а в ряде случаев и направленности медленных тектонических

движений. Примеры такого перераспределения напряжений, связанного с разломами разной формы и различной ориентировки к направлениям общего наибольшего сжатия, по данным экспериментов приводятся М. В. Гзовским (1971) и другими авторами. При этом изменяется и величина максимальных касательных напряжений. Такое перераспределение напряжений наблюдается и в однородных структурных зонах и сказывается на различных тектонических явлениях: медленных движениях, вулканических и других, которые оказывают влияние и на экзогенные процессы. Известны примеры такого влияния (Кропоткин, 1950; Солоненко, 1974).

Грандиозная катастрофа в Чилийско-Аргентинских Андах 18 апреля 1932 г., когда почти одновременно пришли в действие 25 крупных вулканов, образующих ряд длиной в 800 км (от Сант-Яго до Консепсион), объясняется быстро распространившимся тектоническим импульсом, охватившим огромную площадь. Этот факт, по мнению П. Н. Кропоткина, подтверждает наличие упругих напряжений и быстрое их распространение на большие расстояния в земной коре. Этот пример не единственный. Когда в какой-то сейсмической зоне на Земле происходит землетрясение, в этом месте обязательно изменяется напряженное состояние за счет выделившейся упругой энергии. Но так как Земля в целом представляет одну гигантскую систему напряжений, то изменения в одном месте неизбежно вызовут хотя бы малую перестройку напряжений повсюду, особенно в той же сейсмической зоне, которая в крупном плане представляет единую систему напряжений. Такая миграция отмечалась для Алеутских островов Камчатки, Чили и других районов. Подробный анализ такой миграции дан К. Моги (1974) и М. Ботом (1968). При этом скорость изменения напряжений в пространстве, по примерным подсчетам, указывается очень разной, до 5—16 км/час (Бот, 1968). Такую же миграцию на расстоянии 1600—1900 км указывает В. П. Солоненко (1974) для Монголо-Байкальского сейсмического пояса, на флангах которого происходит как бы своеобразная перекличка импульсных толчков сильных землетрясений (с $M=6-8,6$). Перемещение импульса тектонических движений на новый участок пояса означает ослабление напряжения на старом участке. Однако быстро происходящее перераспределение упругих напряжений вызывает новое накопление их в старом участке, подготавливая новый импульс. В данном случае можно видеть пример перестройки единой системы напряжений в пределах одного очень крупного сейсмического пояса.

Отмечались случаи взаимосвязи деформаций Земли на расстоянии до 2000 км от эпицентра землетрясения и даже до 10 000 км, выражавшейся в проявлении наклонов земной поверхности в сторону эпицентра (Латынина, 1963). Это указывает на быструю передачу напряжений и существование планетарного механизма деформации.

По другим примерам известно, что в гигантской связанной системе напряжений Земли сильные импульсные движения, проявившиеся в одном месте, по-видимому, снижают проявления активности импульсов в остальных частях Земли. Установлена миграция импульсов не только в горизонтальном направлении, но и в вертикальном, выражающаяся в изменении глубины очагов землетрясений (Бот, 1968; Моги, 1974). Такое пространственное и временное распределение импульсов в глобальной системе напряжений Земли изучено еще очень мало, но оно имеет значение не только для сейсмотектоники, но и для геоморфологии.

Связь импульсных движений с медленными может быть проиллюстрирована и на следующем примере. Установлено, что горизонтальные смещения по разлому Сан-Андреас, выявляемые геодезическими методами, сосредоточены в узкой зоне. На расстоянии 10 км от разлома деформация составляет всего 0,086 максимальной. Была высказана мысль,

что концентрация горизонтальных деформаций в такой близости от разлома (по данным повторных нивелировок) вызвана уменьшением жесткости блоков вблизи разлома, что может быть обусловлено многочисленными трещинами. Импульсные движения приводят здесь к нарушению структуры пород и проявлению пластических сдвиговых движений. Не является ли зона горизонтальных смещений результатом накопления и суммирования мелких смещений при бесчисленных импульсных движениях?

Перераспределение напряженного состояния, которое, как мы видели, может проявляться на огромных площадях (десятки и сотни тысяч км²), влияет на поведение отдельных блоков земной коры и на формирование их рельефа. В их пределах начинает меняться режим медленных движений, отражающихся как на их направленности и скорости, так и на тектоническом крипе — ползучести, сказывающемся в перемещении отдельных блоков по разломам. Это неминуемо ведет к изменению режима подземных вод, дебита источников, геохимических особенностей подземных вод, водности рек и т. д. Установлено, например, что в Восточном Саяне и Южном Прибайкалье химический и газовый состав минеральных вод, их минерализация и температура находятся в зависимости от степени активности разломов. К малоактивным в настоящее время разломам приурочены выходы холодных минеральных вод, газирующие углекислотой; с сейсмически активными разломами связаны высокотемпературные воды азотного и метанового состава (t до 95°С). При этом отмечено, что источники реагируют на импульсные движения повышением дебита, изменениями температуры, хотя источник импульса может располагаться в значительном удалении. Такие же закономерности наблюдаются и в других районах проявления импульсных движений (Средняя Азия и др.).

Н. А. Маринов (1973) и В. П. Солоненко (1974) обоснованно связывают трансгрессии Торейских озер в юго-восточном Забайкалье и озер в соседних районах северо-восточной Монголии, происходившие в 1908 и 1958 гг., с предшествовавшими этим трансгрессиям сильными землетрясениями (Северо-Хангайским — 1905 г., Муйским — 1957 г. и Гоби-Алтайским — 1957 г.). Это также пример перераспределения напряженного состояния и влияния импульсных движений на медленные.

Неравномерность проявления тектонических движений во времени и развитие рельефа

Имеющиеся факты указывают на изменение скорости тектонических движений (так же, как и знака движений) во времени. Так, например, многие исследователи приводят доказательства неравномерной скорости тектонических движений Кавказа, Тянь-Шаня, Камчатки, Прибайкалья, Алтая и других горных областей. С изменением скоростей медленных тектонических движений связаны импульсы сейсмической активности и активизации горного оледенения Кавказа, Тянь-Шаня, Алтая и других горных стран, устанавливаемые по соотношению террас, конечных морен с огромными обвальными массами, объясняемыми импульсными движениями (Максимов, 1968).

Поскольку тектонические движения, в особенности дифференцированные, вызывают напряженное состояние земной коры, то и накопление упругой энергии во времени (а значит, и ее разрядка), очевидно, также будет неравномерным. Импульсные тектонические движения, порождая землетрясения при разном уровне упругих деформаций, во времени будут отличаться и разной максимальной магнитудой, и разной суммарной энергией. Отсюда неизбежен вывод, что импульсные тектонические движения не только количественно и по интенсивности, но и качественно во времени будут изменяться.

Принимая равномерность тектонических движений, мы невольно допускали эволюционное развитие процессов, как тектонических, так и рельефообразования. «Мнение о большом значении медленных, длительных, постепенных процессов совершенно правильно», — писал Д. В. Наливкин. «Эволюционные процессы лежат в основе очень многих явлений. Но мнение о том, что только они создают историю Земли, представляет грубую методическую ошибку, ограничивающую и искажающую наше мировоззрение... История земной поверхности, как и все другие истории, создается совокупностью, совместным, чередующимся действием как эволюционных, так и революционных процессов и явлений». (Наливкин, 1969).

В настоящее время становится очевидным, что в истории развития рельефа горных стран имели место катастрофические процессы, связанные со значительно большими скоростями проявления направленных медленных движений земной коры, сопровождавшихся быстрым накоплением упругой энергии, интенсивными проявлениями разломной тектоники, блоково-глыбовыми движениями, катастрофическими землетрясениями, а местами процессами вулканизма.

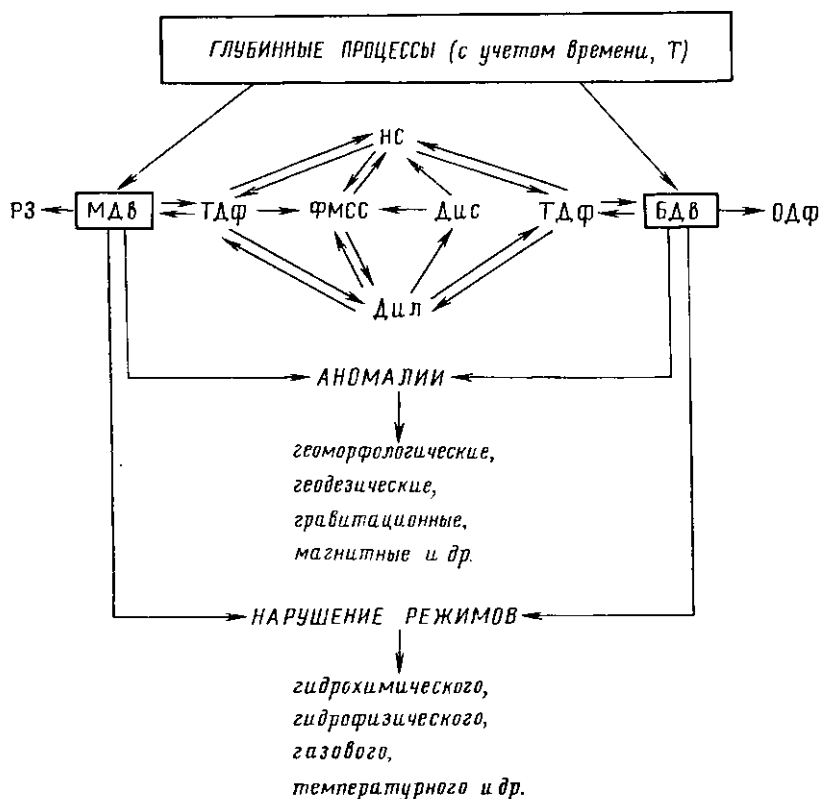
Выраженные в рельефе следы разных типов сейсмодислокаций в ряде районов Кавказа, Тянь-Шаня и других горных стран в большинстве случаев оказываются приуроченными к раннему голоцену, позднему и раннему плейстоцену, т. е. отрезкам времени с более напряженными тектоническими процессами. Есть основание считать, что современный эпоха в целом отличается более низким уровнем проявления сейсмичности. Поэтому определение максимального уровня сейсмичности по палеосейсмодислокациям (без точного определения их возраста) неизбежно будет приводить к его завышению (Солоненко, Хромовских, 1974). А это имеет большое практическое значение для сейсмического районирования и решения палеогеоморфологических вопросов.

Заключение

Медленные (вековые) и быстрые (импульсные) тектонические движения можно рассматривать как различную реакцию коры и верхней мантии на проявления единых глубинных процессов. Проявляются эти движения повсеместно. В значительной мере импульсные движения подчиняются закономерностям генетически близких им медленных тектонических движений. Пространство области интенсивного проявления медленных и импульсных движений в общем совпадают, как и области слабого проявления этих движений.

Ведущим тектоническим фактором в развитии рельефа оказываются разнообразные медленные движения. Проявляющиеся импульсные движения влияют на усиление экзогенных процессов и ведут к образованию различных остаточных деформаций (сейсмодислокаций, трещиноватость горных пород), часто выраженных в рельефе. Неравномерность проявления тектонических движений во времени определяет смену эволюционного развития катастрофическими процессами, когда значение интенсивных импульсных движений в формировании рельефа подвижных областей значительно увеличивается. Катастрофизм в развитии рельефа надо рассматривать не в духе катастрофистов XIX в. (Кювье и др.), а как диалектическое сочетание эволюционного и революционного развития. По-видимому, следует говорить о неокатастрофизме в развитии рельефа земной поверхности.

Необходимо еще раз отметить важность выделения импульсных тектонических движений. Не менее важно реально оценить их влияние на различные экзогенные процессы и формирование рельефа. Все сказанное выше можно проиллюстрировать принципиальной схемой взаимодействия медленных и быстрых тектонических движений (см. табли-



Принципиальная схема взаимодействия медленных и быстрых тектонических движений, их эндогенных причин и следствий.

РЗ — рельеф земной поверхности, МДв — медленные тектонические движения, БДв — быстрые тектонические движения, ТДф — тектонические деформации (упругие, пластические), НС — напряженное состояние земной коры и мантии, Дил — дилатация, Дис — дисторсия, ФМСС — изменение физико-механических свойств среды, ОДФ — остаточные деформации, T — геологическое время

цу). Рассматривая ее, надо иметь в виду, что возникающее напряженное состояние земной коры усиливается при изменении температуры недр и при проявлении термоупругих напряжений. Все это ведет к изменениям физико-механических свойств среды, о чем, например, говорят локальные изменения отношений скоростей продольных и поперечных сейсмических волн в местах «созревания» очагов будущих крупных землетрясений. Следствием такого взаимодействия является возникновение геоморфологических, геодезических и других аномалий и нарушение гидрохимических, газовых и других режимов.

ЛИТЕРАТУРА

- Артемьев М. Е. О связи нарушений изостатического равновесия с сейсмичностью. В кн. «Экспериментальная сейсмология». М., «Наука», 1971.
- Бот М. О проблеме предсказаний землетрясений. В кн. «Предсказание землетрясений», М., Мир, 1968.
- Богданович К. И., Карк И. М., Корольков Б. Я., Мушкетов Д. И. Землетрясения в северных цепях Тянь-Шаня 22 дек. 1910 г. «Тр. Геол. ком-та, нов. сер.», вып. 89, СПб, 1914.
- Бюс Е. И. Сейсмические условия Закавказья. т. III, Тбилиси, 1955.
- Броун Д., Кэмпбел К., Крук К. Геологическое развитие Австралии и Новой Зеландии. М. «Мир», 1970.
- Булин Н. К. Современное напряженное состояние земной коры. «Геол. и геофиз.», № 12, 1973.
- Бунз В. И. и др. Методы детального изучения сейсмичности. «Тр. ИФЗ АН СССР», № 9, (176), 1960.
- Введенская А. В. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. М., «Наука», 1962.

- Гзовский М. В. Современные возможности оценки тектонических напряжений в земной коре. В кн. «Тектонофизика и механические свойства горных пород», М., «Наука», 1971.
- Живая тектоника, вулканы и сейсмичность Станового нагорья. Ред. В. П. Солоненко. М., «Наука», 1966.
- Казимиров Д. А. Импульсные тектонические движения. «Геотектоника», № 4, 1974.
- Косыгин Ю. А. Тектоника. М., «Недра», 1969.
- Кропоткин П. Н. О происхождении складчатости. «Бюл. МОИП. Отд. геол.», № 5, 1950.
- Кропоткин П. Н. Напряженное состояние земной коры по измерениям в горных выработках и геофизическим данным. В кн. «Проблема теоретической и региональной тектоники», М., «Наука», 1971.
- Кропоткин П. Н., Фролов Б. И. Напряженное состояние и сколовые деформации в коре и верхней мантии. В кн. «Физические свойства, состав и строение верхней мантии», М., «Наука», 1974.
- Латынина Л. А. Основные представления о причинах и характере изменения режима тектонических движений перед крупным землетрясением. В сб. «Современные движения земной коры», № 1, М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Максимов Е. В. О существовании связи между стадиями оледенений и проявлениями сейсмичности. «Изв. ВГО», т. 100, вып. 1, 1968.
- Маринов Н. А. Современные тектонические движения в юго-западном Забайкалье и на крайнем северо-востоке Монголии. «Геоморфология», № 3, 1973.
- Моги К. Закономерности в пространственном и временном распределении сильных землетрясений и предсказание землетрясений. Ташкент. 1974.
- Наливкин Д. В. Ураганы, бури и смерчи. Т. «Наука», 1969.
- Напряженное состояние земной коры. Ред. П. Н. Кропоткин. М., «Наука», 1973.
- Николаев Н. И. Нестектоника и сейсмичность Восточно-Европейской платформы. «Изв. АН СССР Сер. геогр.», № 2, 1967.
- Николаев Н. И. Палеогеоморфология материковых платформ и быстрые тектонические движения. В кн. «Проблемы палеогеоморфологии». М., «Наука», 1970.
- Николаев Н. И. Водохранилища и землетрясения. «Изв. АН СССР. Физика Земли», № 8, 1972.
- Николаев Н. И. Искусственные землетрясения. «Природа», № 7, 1973.
- Николаев П. Н. К методике анализа количественных характеристик вертикальной и горизонтальной составляющих скоростей тектонических движений. «Докл. АН СССР», т. 213, № 2, 1973.
- Пономарев В. С. Упругая энергия горных пород и сейсмичность. В сб. «Экспериментальная сейсмология», М., «Наука», 1971.
- Сейсмогенные структуры и сейсмодислокации. В сб. «ВНИИгеофизика, МСССР АН СССР», М., 1973.
- Симбирева И. Г. Механизм очагов слабых землетрясений бассейна реки Нарын. В сб. «Экспериментальная сейсмология», М., «Наука», 1971.
- Солоненко В. П. Землетрясения и рельеф. «Геоморфология», № 4, 1973а.
- Солоненко В. П. Палеосейсмогеология. «Изв. АН СССР. Физика Земли», № 9, 1973б.
- Солоненко В. П. Сейсмология и проблемы предсказания землетрясений. «Геол. и геофиз.», № 5, 1974.
- Солоненко В. П., Хромовских В. С. Мощные землетрясения Большого Кавказа. «Природа», № 6, 1974.
- Флоренсов Н. А. О неотектонике и сейсмичности Монголо-Байкальской горной области. «Геол. и геофиз.», № 1, 1960.
- Чуринов М. В. Опользень, породивший озеро. «Природа», № 8, 1964.
- Шульц С. С. Поверхностные гравитационные перемещения и гравитационная тектоника. «Уч. зап. ЛГУ», № 298, сер. геогр. Л., «Наука», в 15, 1961.
- Carder D. S. Reservoir loading and local earthquakes. «Bull. Geol. Soc. America», 81 (8), 1970.
- Doyle H. A., Seismicity and structure in Australia. Internat. Sympos. on recent crustal movements and associated seismicity. Wellington, 1970.
- Evans D. M. The Denver area earthquakes and the Rocky Mountain Arsenal disposal well. «Mountain Geol.», 3, 1966.
- Gordon F. R. Thrusting at Meckering, Western Australia, 14 October, 1968. Internat. sympos. on recent crustal movements and associates seismicity. Wellington, 1970.
- Nikolaev N. I. Tectonic conditions faourable for causing earthquakes occurring in connection with researvoir filling. «Enging Geol.», No. 8, 1974.
- Reid H. F. The elastic rebound theory of earthquakes. «Univ. Calif. Publ. Bull. Dept. Geol.», No. 6, 1911.
- Steinbrugge K. V. et all. Earthquakes related to reservoir filling. «Nat Acad. Sci. Nat. Acad. Engng». Washington, 1972.

IMPULSE TECTONIC MOVEMENTS AND THEIR RELIEF-FORMING SIGNIFICANCE

N. I. NIKOLAYEV

S u m m a r y

Slow (secular) and quick (impulse) tectonic movements are considered to be different responses of the Earth's crust and the upper mantle to the common hypogene processes. The impulse movements are widespread. Regions of the active impulse movements correspond to regions of intensive slow movements, the former evidences being rather often occurrence of strong earthquakes. The impulse movements are discontinuous and their rate is of 10—12 orders of magnitude more than the rate of the slow movements. The mechanism of the impulse movement generation varies with depth. The main relief-forming tectonic factors proved to be various kinds of slow movements. Impulse movements result in residual deformations which influence topography and rock jointing. They certainly influence the exogenous processes, but the influence is still to be studied. Table 1 shows the relief-forming significance of the both kinds of tectonic movements and their interaction.
